

馬洗川橋 PC 上部工事の施工

— PC 2 径間連続エクストラードード橋の施工 —

坂本 高宏*1・飯田 勝己*2・松下 哲也*3・楠 英規*4

馬洗川橋は、上原願万地線の整備事業の一環として、広島県三次市内の一級河川馬洗川を渡河する PC 2 径間連続エクストラードード橋である。本橋を含む本路線は、新旧市街地の一体性・交通安全性の確保などが期待されており、将来の交通網を支える大きな役割を期待されている。

本稿では、この PC 2 径間連続エクストラードード橋の上部工工事の施工について報告する。

キーワード：エクストラードード橋，マスコン対策，斜材施工

1. はじめに

馬洗川橋は、広島県三次市に架橋される全長 181 m、標準全幅 17.8 m の PC 2 径間連続エクストラードード橋である。本橋の架設は、移動作業車 2 台による片持ち張出し施工で行った。

本稿では、この上部工事の施工について報告する。

2. 路線概要

馬洗川橋が位置する上原願万地線は、三次市の中心市街地である三次市十日市を南北に通過し、一級河川馬洗川を渡河し、新市街地が形成されつつある三次町や島敷町へ到る同市の南北軸を形成する幹線道路である。現在、河川に分断されたこれらの市街地相互を連絡する他橋梁は幅員約 5.5 m と大型車の離合が困難であり、また歩道も未整備である。図 - 1 に、路線計画概要図を示す。

このため本路線は、以下の目的にて計画されている。

- 1) 馬洗川以北の三次町や島敷町などに対して、市役所や駅への動線確保による利便性の向上
- 2) 南北市街地の一体性
- 3) 自転車や歩行者の安全性の確保
- 4) 将来の中国横断道尾道松江線三次ジャンクションインターチェンジの完成に伴う交通量の増大への対処

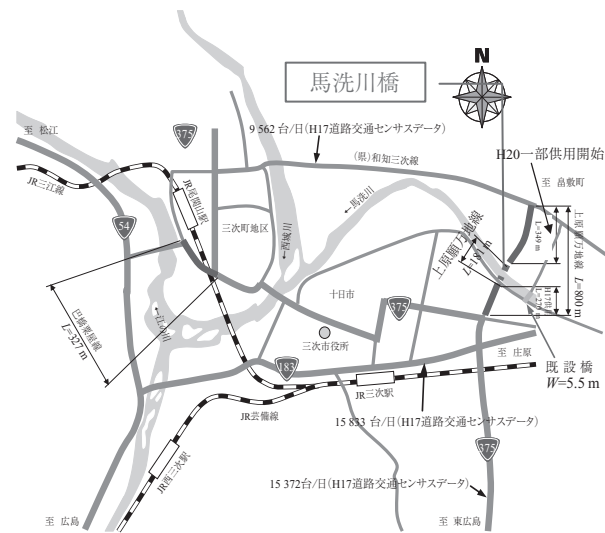


図 - 1 計画概要図

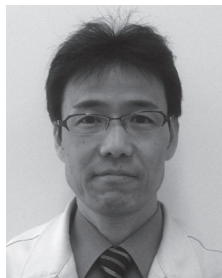
本路線は、昭和 63 年に都市計画決定を行い、平成 10 年度に事業着手、平成 17 年 6 月に馬洗川左岸までの区間を供用開始し、続いて平成 18 年から平成 22 年度までに馬洗川右岸から県道知三次線までの区間が整備されている。

馬洗川橋については、平成 21 年度から橋脚の整備に着



*1 Takahiro SAKAMOTO

三次市 建設部 都市整備課



*2 Katsumi IIDA

国土交通省
三次河川国道事務所



*3 Tetsuya MATSUSHITA

オリエンタル白石 (株)
施工・技術部



*3 Hideki KUSU

オリエンタル白石 (株)
施工・技術部

手し、平成24年8月の供用開始をめざして工事が進められている。

3. 橋梁概要

馬洗川橋の橋梁概要を以下に示す。また、構造一般図を図-2および図-3に示す。

- 工事名：馬洗川橋 PC 2 径間連続エクストラード橋
- 河川名：一級河川 馬洗川 ($Q = 3\,200\text{ m}^3/\text{sec}$)
- 道路規格：第4種第2級
- 活荷重：B活荷重
- 設計速度： $V = 50.0\text{ km/h}$
- 橋長：181.000 m
- 支間長：91.500 m + 87.550 m
- 有効幅員：2 @ 4.500 m (歩道) + 7.000 m (車道)
- 斜角：A1側 90°, A2側 87° 13'
- 縦断勾配：4.332 % (上り), 4.600 % (下り)
- 横断勾配：1.50 %
- 橋梁形式：PC 2 径間連続エクストラード橋
- 施工方法：片持ち張出し工法

本橋梁は、2面吊りのPC 2径間連続エクストラード橋であり、斜材は張出し施工の2ブロックごとに約8m間隔で配置され、ファン形で計8段が配置されている。

主桁断面の特徴としては以下のとおりである。断面形状は、全幅員が17.8mと広幅員であり、1室箱桁では床版支間が道路橋示方書の規定である床版の最大支間長6.0mを超過するため、2室箱桁として計画されている。一般的な

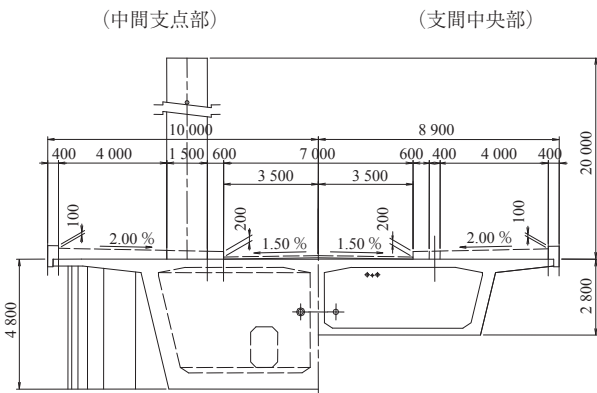


図 - 2 構造一般図 (断面図)

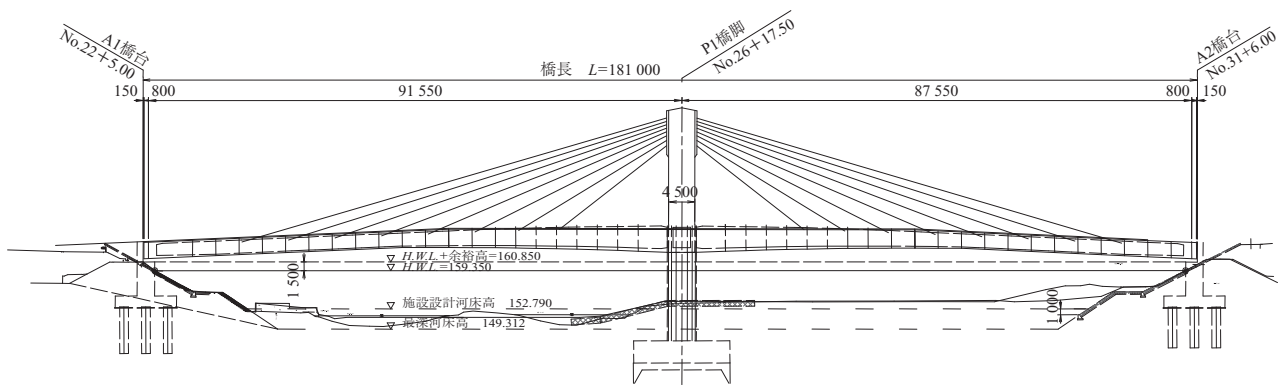


図 - 3 構造一般図 (側面図)

エクストラード橋の桁高 H_1 は、中間支点上で $L/35 \sim L/45$ 、支間中央部で $L/50 \sim L/60$ (H_1 : 桁高, L : 換算支間長 (2径間の場合、主径間長の1.8倍)) の関係であるが、本橋のケース (中間支点上 $1/34$ 、支間中央 $1/59$) においても、おおむね一般的な関係の範疇である。また、本橋の桁高決定に際しては、道路縦断線形と河川条件を考慮する必要があった。桁端部については、側径間施工を非出水期とすることにより、 $\langle H.W.L \text{ (計画高水位)} + \text{余裕高} \rangle$ を完成系で確保すべく、その桁端桁高を2.8mとしている。また、柱頭部ならびに張出し施工部については、その施工時期が出水期となるため、張出し施工時に対しても $\langle H.W.L + \text{余裕高} \rangle$ を確保する必要がある。よって、移動作業車 (ワーゲン) 部材も考慮して、柱頭部桁高4.8mとした (図-4)。

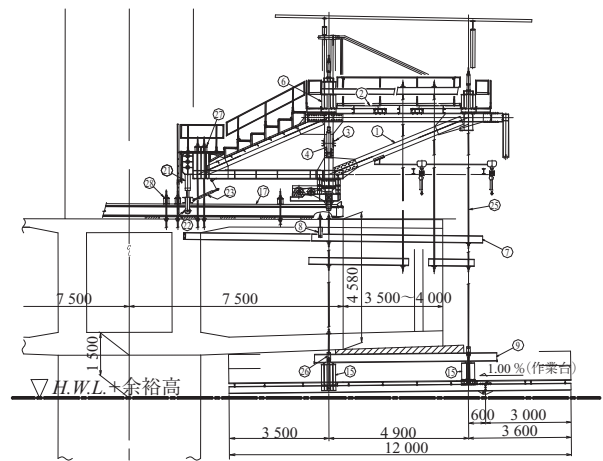


図 - 4 桁高決定検討図 (柱頭部)

主塔は、独立2本形状で20mの高さを有し、一般的なエクストラード橋の主塔高さは $H_2/L = 1/8 \sim 1/15$ (H_2 : 塔高, L : 換算支間長) の関係であるが、本橋のケース ($H_2/L = 1/8.2$) においても、この関係の範疇である。主塔部の斜材定着については、貫通固定方式であるサドル定着としている。

表-1に、本工事の主要工事数量を示す。

表 - 1 主要工事数量

項目	仕様	単位	数量	備考
コンクリート	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	3 077	主桁部
	$\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	m ³	280	主塔部
	$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$	m ³	90	地覆部
鉄筋	SD345	t	624	
PC 鋼材	縦締め 12S15.2B	kg	102 164	
	斜材 27S15.2B	kg	49 072	
	横締め 1S28.6	kg	24 225	

4. 施工概要

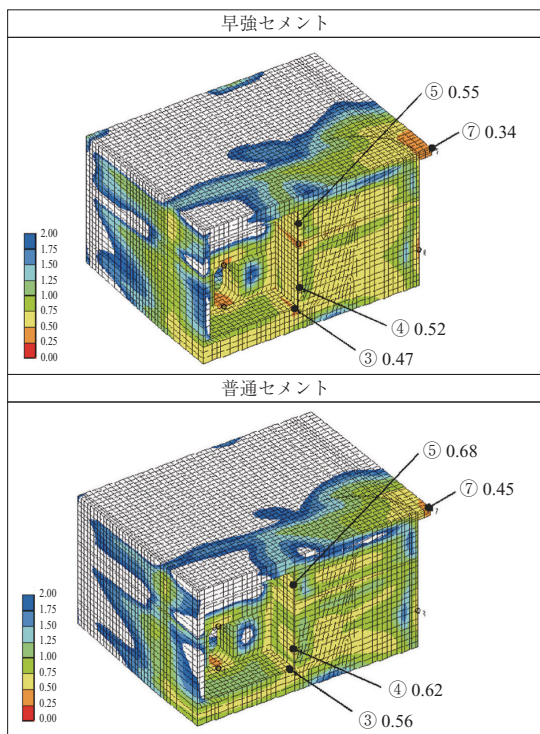
4.1 マスコンクリート対策

本橋の中間支点横桁部は部材厚が 5.0 m ありマスコンクリートとしての作用を受けるため、施工時の温度膨張収縮に起因する耐久性に有害となるひび割れの発生が懸念された。そこで、3 次元温度応力を実施して、コンクリートの実施配合および養生方法を決定した。

(1) セメント種別

PC 上部工の施工においては、一般的には、早強セメントが用いられる。しかし早強セメントは、マスコンクリート部においては、普通セメントに比較して、断熱温度上昇特性が高いことより、温度応力が増加してひび割れ指数が低下する。そのため柱頭部では普通セメントに変更して施工を行った。また、柱頭部はコンクリート打設体積より、2 回に分けてコンクリート打設を行う。あと施工となる上床版部は、ウェブ・下床版の既施工部の拘束の影響により、打継界面近傍に、比較的大きな温度応力が生じる。そのため、2 次施工部には膨張材を混入して、発生する温度応力の低減を図った。表 - 2 に、早強セメントと普通セメン

表 - 2 ひび割れ指数対比表 (早強・普通)



トのひび割れ指数の対比を示す。

(2) パイプクーリングの実施

セメント種別の変更による温度応力低減に加えて、更なる改善を目的として、本橋ではコンクリート硬化熱の抑制を目的として、パイプクーリングを実施した。このパイプクーリングは、500 ~ 600 mm ピッチにて 1 インチのパイプを配置して、この配管内部に水温コンクリートユニットにて温度管理された冷却水を通水するものである。このパイプクーリングによる改善効果として、表 - 3 にコンクリート温度の対比表を、表 - 4 に表 - 2 との比較資料としてパイプクーリング実施時のひび割れ指数を示す。

パイプクーリングの実施により、第 1 リフト部で約 20 °C、第 2 リフト部で約 10 °C のコンクリート硬化熱の低減が可能となり、結果、ひび割れ指数では当初の早強セメントに比較して、0.16 ~ 0.53 の改善効果が図れた。写真 - 1 に、パイプクーリング用の配管状況を示す。

表 - 3 コンクリート温度対比表 (パイプクーリングの有無)

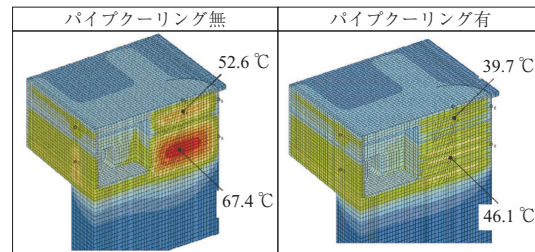


表 - 4 パイプクーリング実施時のひび割れ指数

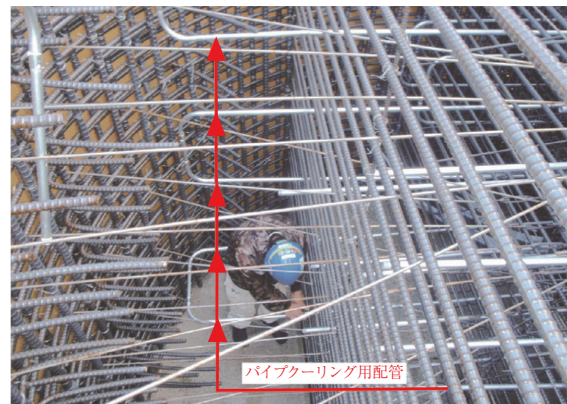
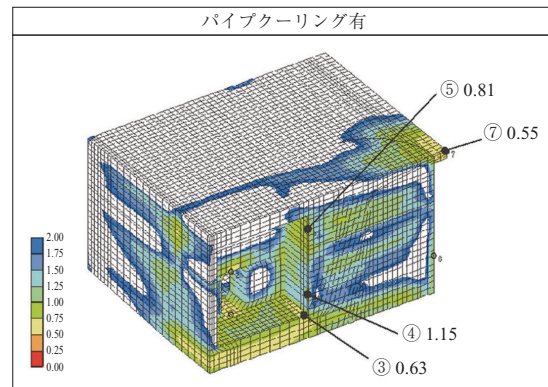


写真 - 1 パイプクーリング配管状況

(3) 補強鉄筋

前述で示した温度応力の改善のうえ、発生するひび割れ幅を一般環境下の許容幅 ($0.005 C = 0.175 \text{ mm}$ (c: かぶり)) より、厳しい腐食環境下の許容幅 ($0.0035 C = 0.122 \text{ mm}$) 以下に抑制が可能なように補強鉄筋を計画した。

4.2 河川内施工に対する配慮

本橋は河川内のほぼ中央に位置する P1 橋脚より両側の橋台に向かって張出し架設を行なう工事である。常時は右岸側堤防から P1 橋脚付近まで堆積された土砂が水面より露出しており、その高水敷を施工ヤードとして利用している。しかし、出水期間 (6/15 ~ 10/20) では *H.W.L* 以上で施工するという河川条件による制限がある。着手前状況を写真 - 2 に示す。



写真 - 2 上部工着手前状況

当工事の張出し施工部は左右でのおおの 20 BL あり、出水期間においても *H.W.L* の確保を目的として低床型ワーゲンを使用している。今回使用したワーゲンの特徴としては下部作業台と下部型枠受け梁を一体のものとした。したがって桁高変化に応じて足場高さも変化していくため、高さ変更が比較的容易なクサビ式支保工材を足場として利用した。また桁高変化および縦断勾配を考慮して底型枠の下に勾配調整材を敷設することにより足場の傾きが 2% 以内になるように計画した。写真 - 3 に、ワーゲンの設置状況を示す。



写真 - 3 ワーゲン設置状況

また、河川の水質汚濁対策としてはワーゲン底面に防水シートを敷設し、施工箇所よりの濁水をポンプアップして橋面上への汚濁水処理設備にて浄化を行うことにより、河

川への濁水流出を防止した。加えて、各ブロックの鉛直打継面で KK シートを使用することにより高圧水での洗出し作業を省略して、通常、発生する汚濁水を抑制した。写真 - 4 にブロック鉛直打継面への KK シートにより粗面処理状況を示す。

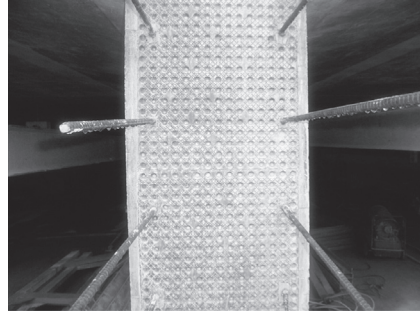


写真 - 4 KK シートによる粗面処理状況

4.3 養生

養生期間の湿潤状態の保持を目的として、湿潤養生用のアクアマット S タイプを敷設したうえに散水するとともに、温度応力緩和を目的として、コンクリート硬化熱の低下勾配を緩慢化させるため、保温養生用の断熱養生シートで覆った。写真 - 5 に張出し施工時における主桁上面部の養生状況を示す。

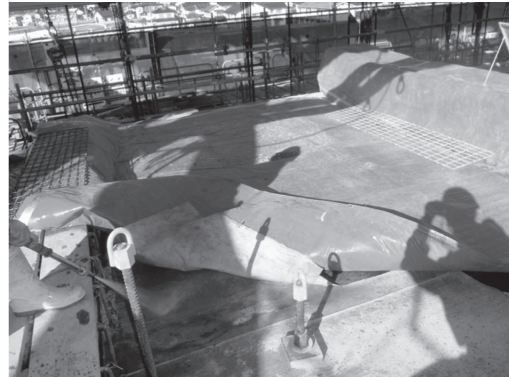


写真 - 5 養生状況 (主桁上面部)

このアクアマット S タイプは勾配面でも均質な湿潤状態を保持でき、断続的な散水に比べて表面硬度が向上し、凍結融解に対する抵抗性が増加する。また、断熱養生シートはブルーシートに比べて熱伝導率が約 1/4 であり、非常に高い保温効果が特徴である。各種養生シート熱伝導量の比較を図 - 5 に示す。

主塔部においては、鉛直面用のアクアマット R タイプを用いて、湿潤状態の確実な保持に努めた。写真 - 6 に主塔部での鉛直面の養生状況を示す。

4.4 斜材

(1) 斜材システム

本橋の斜材ケーブル (27S15.2) には、工場で熱可塑性樹脂にて完全被覆された付着型スープロマルチケーブル (SUPRO/NB) を使用している。

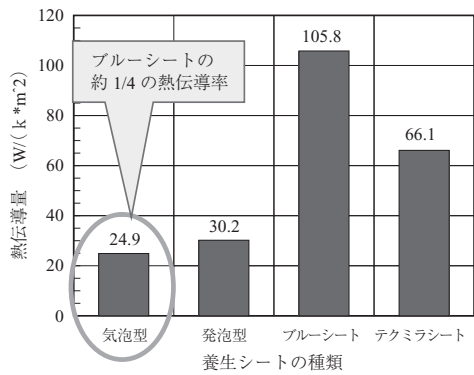


図 - 5 各種養生シート熱伝導量の比較

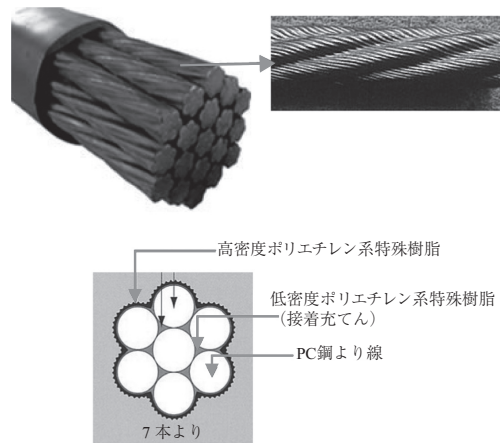


図 - 6 スープロケーブル



写真 - 6 養生状況 (主塔鉛直面)

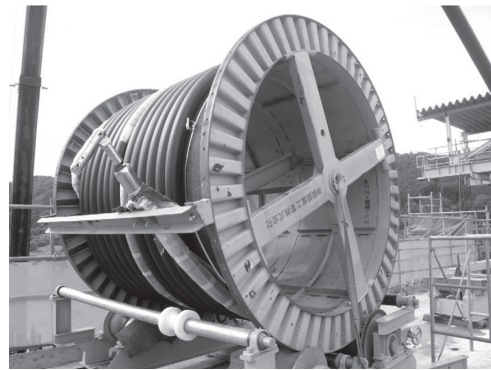


写真 - 7 斜材ケーブルセット状況

このスープロケーブルは、PC鋼より線の隙間を利用して、熔融樹脂を周りに連続的に加圧注入するため、PC鋼より線の撻りを緩めたり開いたりすることなく、そのままの形状で内部空隙に樹脂を充てんするため、PC鋼材に与える影響がきわめて低い。また、これらの防錆処理は、PC鋼線の製作工場で実施されることより、製造時から供用時にいたるまで全期間で確実な防食となり、斜材システムとしての防食の信頼性および確実性を向上することを可能とした。さらに本橋の斜材は、このスープロケーブル27本を束ね合せ、その外側を高密度ポリエチレンで一括被覆した2重防食構造のマルチケーブルを採用して、冬季の凍結防止材等に対する耐塩性・耐候性にも優れるなど、斜材システムとしての耐久性の向上を図った。図 - 6 に本斜材システムの姿写真事例および断面構成図を示す。

(2) 斜材ケーブルの架設

斜材ケーブルは所定の長さに製作・加工された状態で、1ケーブルごと、リールに巻かれて搬入される。搬入されたリールを橋面上のアンリーラーに設置して、クレーンでリールに巻かれた斜材ケーブルをセットする。斜材ケーブルをアンリーラーにセットした状況を写真 - 7 に示す。

アンリーラー上のケーブルをケーブル先端に引出し用金物を取り付けた状態で、リール下側からクレーンで途中まで引き出す。その状況を写真 - 8 に示す。

引き出されたケーブル先端をリール設置箇所に対して主



写真 - 8 引出し用金物取付け状況

塔の反対側に設置したウィンチから主塔サドル体の中を通過させたワイヤーに固定する。

その後、ケーブルの途中部分をクレーンで吊り上げながらウィンチでケーブルをサドル内へ引き込む。このときサドル付近の足場などがケーブル挿入の障害とならないようにしておくと同時に、ガイドパイプと斜材ケーブルの接触による被覆材の損傷を防止させることを目的として、布きれなどによる養生を実施した。

斜材ケーブル先端がサドル内を通過後もウィンチに過度な負荷が生じないようにウィンチとクレーンの両方でケーブルの架設を行った。ケーブル両端を橋面上の定着部近傍

まで引き込んだ後、主塔サドル部においてケーブル仮固定のためのケーブルバンドを設置してウィンチワイヤーを取り外す。その後、箱桁内部に設置したチルホールにより橋面上のケーブルを桁内まで引き込み固定する。斜材ケーブル架設状況を図 - 7 に示す。

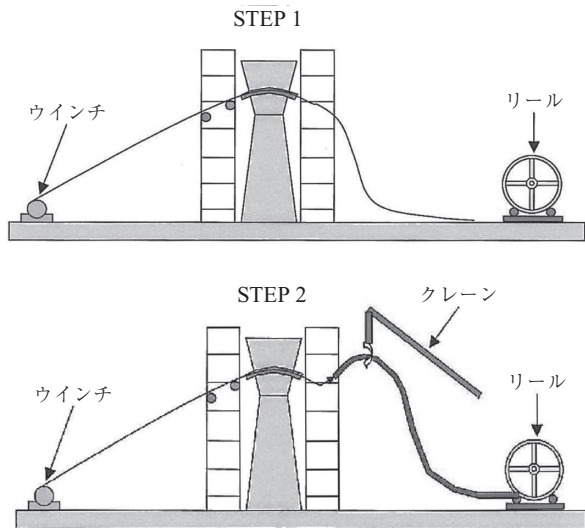


図 - 7 斜材ケーブル架設状況

また両端長さを所定の長さとするを目的として、サドル体貫通箇所前後にマークを入れておき、斜材ケーブルを所定の位置まで引き込んだ時、両端のマークが大きくずれないように一括被覆部にケーブルバンドを取り付け、主塔サドル部と緊結する。ケーブルバンドの設置状況を写真 - 9 に示す。

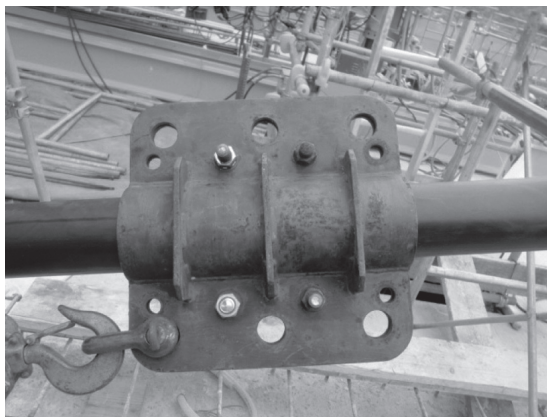


写真 - 9 ケーブルバンド使用状況

図 - 7 で示したケーブル架設方法では、橋脚上に設置したタワークレーンでは作業可能半径がかぎられているため、橋梁下にクレーンの設置が必要となる。しかし、本工事における A1 側は、非出水期でも河川内へのクレーンの設置はできなかった。したがって比較的長い斜材ケーブルの架設時においては、クレーンによる補助ができない。そこで補助クレーンを使用しないで斜材を架設方法として、以下の方策を講じた。

- ① 主塔の A1 側サドルから定着部付近までメッセンジャーワイヤーの先行架設
- ② メッセンジャーワイヤーにラッセルネットで斜材ケーブルのガイドの設置
- ③ 斜材の斜材自重を支持した状態で、A1 側ウィンチにより斜材の架設

上記の方法での架設状況を写真 - 10 に示す。



写真 - 10 斜材ケーブル架設状況

(3) 斜材緊張力管理

斜材の緊張力は、一般的な外ケーブルの緊張管理と同様に緊張ポンプのマノメータ示度（荷重）と斜材の伸び量によって管理した。しかし、斜材は通常の外ケーブルに比べて偏心量が大きく、ケーブルが上空に露出して外的環境条件の影響が大きくなる。したがって斜材導入緊張力を決定するにあたっては、通常の補正（① 設計導入張力に PC 鋼材のリラクセーション、② 定着具のセットロス、③ ジャッキ・定着具の内部摩擦損失）に加えて、温度変化に対する補正を実施した。この温度補正を実施するにあたっては、主桁の内部（上床版・下床版）および斜材内部（温度計測用ダミー斜材）の温度を斜材緊張直前に計測して、① 斜材とコンクリートの温度差、② 基準温度とコンクリート温度の温度差、③ 上床版と下床版の温度差に対して、斜材緊張力の補正量を算出した。ダミー斜材による温度計測状況を写真 - 11 に示す。



写真 - 11 ダミー斜材による温度計測

温度補正を行った計画緊張力の導入は、箱桁内部の上床版突起に位置する斜材ケーブル定着部において両引きで緊

○ 特集 / 工事報告 ○

張を行った。この時、橋軸直角方向に偏心荷重を作用させないことを目的として、左右の斜材にそれぞれ2台ずつ計4台の緊張ジャッキをセットし、同時緊張を行った。斜材緊張の状況を写真 - 12 に示す。



写真 - 12 斜材緊張

4.5 耐久性の向上

(1) 桁端防水

既往のプレストレストコンクリート橋の損傷としては、伸縮装置等からの漏水による桁端部の事例が多い。また、本橋では冬季の凍結防止材が散布されることより、その損傷リスクは高い。したがって本橋では、不測の事態である伸縮装置等からの漏水に対して、桁端部を外部よりの劣化因子から保護するため、桁端防水システム「ケタコート」を塗布することを計画している。

このシステムは NEXCO 試験研究所規格「コンクリート橋桁端部防水システム防水層の品質規格」に適合しており、遮水性試験でも漏水が無く、外観に異常が無いことが確認できている。

また、遮塩性試験でも $5.0 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{day}$ 以下の基準値に対して試験結果が $3.6 \times 10^{-4} \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{day}$ 以下となり、遮塩性が約 1/12 低減できる。

施工方法としては主桁施工完了後にブラスト処理等で脆弱部を除去して、施工範囲外の箇所をマスキングブルーシート等で養生した後、プライマー、防水材料2層、トップコートを順に、ローラーで均一に塗布する。その施工管理方法として、各層ごとの膜厚管理を計画している。図 - 8 にケタコートの塗膜構成図を示す。

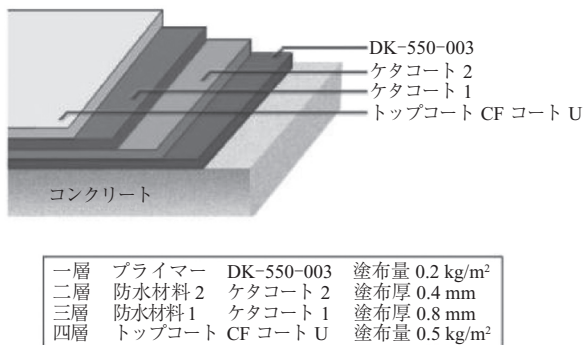


図 - 8 ケタコート塗膜構成図

(2) PC 鋼材定着部

PC 鋼材定着具は PC 構造でとくに重要な部位であることから、所定のかぶりに加えて定着具を防錆処理する多重な防錆処置を施すことにより、定着部の耐久性が向上させる。

本橋の主ケーブルの支圧板ならびにコーンジョイントにエポキシ塗装による防錆処理を実施した (写真 - 13)。



写真 - 13 コーンジョイントおよび支圧板の防錆処理

さらに定着具のグラウトキャップとして樹脂製グラウトキャップを使用した。

これを使用することにより、かぶりに加えて定着具を防錆保護する多重防錆効果 (マルチレイヤープロテクト) による高レベルの耐久性が期待できる。また、樹脂製グラウトキャップは PC グラウトの高圧注入に対して十分耐圧構造を有しており、破損するおそれがない。写真 - 14 に樹脂製グラウトキャップを示す。

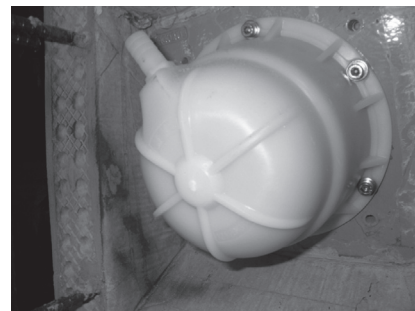


写真 - 14 樹脂製グラウトキャップ

横締め定着部についても工場で支圧板にエポキシ塗装を行った。さらに緊張後の余長切断後にローバルスプレーでグリップと支圧板を防錆処理し、定着グリップおよび PC 鋼材の余長部の防錆向上を目的として、樹脂製キャップ「MT グリップキャップ」を設置した。この MT グリップキャップは、プレグラウト PC 鋼材の端部グリップに確実に樹脂充てんされたグリップキャップを隙間なく取り付けることができ、注排出パイプより高流動のエポキシ樹脂を後から注入することにより樹脂の未充てんを防止し、品質の向上をはかるとともに耐久性の向上が可能となる。写真 - 15 に MT グリップキャップの使用状況を示す。

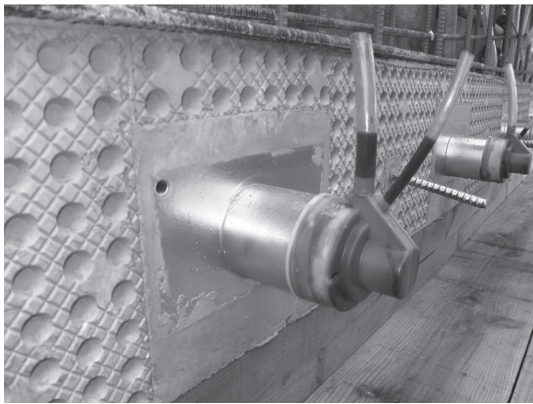


写真 - 15 MT グリップキャップ

4.6 安全対策

本工事は河川内で施工しているため、河川の増水による資機材の流出や水質汚濁に対して留意する必要がある。

とくに、片持ち作業台車による張出し施工中の出水期間(6/15～10/20)ではH.W.L以下となるP1橋脚近傍のヤード内に、資機材を常時に置くことはできない。したがって搬入計画を綿密にたて、各施工段階に必要となる最小限の資機材を納入するとともに現場近くの河川堤外部にヤードを確保して小運搬を行うことにより、河川堤内部となるP1橋脚近傍に資機材のストックを行わないように工夫を行った。

また、これら資機材の荷役は橋面上の主塔の間に設置したタワークレーンを主に使用した。このとき斜材ケーブルがあるため、荷役するものがこれに接触しないように留意するとともに、スペースがかぎられているためカラーコーンにて区画を設け、ストックヤードと通路を明確にして、安全通路を確保した。橋面の使用状況を写真 - 16 に示す。



写真 - 16 橋面の使用状況

昇降階段は河川増水を考慮して、橋脚途中にブラケットを設置し、その上に組立てた上部足場と地上より組み上げた下部足場の2段構造とし、P1橋脚の下流側に設置した。これにより増水のおそれがあるときは、速やかに下部の昇降足場だけを橋面上に吊り上げることが可能となる。なお昇降足場には専用のユニット式のもの(クイックラダー)を使用した。写真 - 17 に2段構造の昇降階段を示す。



写真 - 17 2段構造の昇降階段

5. おわりに

本工事報告では三次市(広島県)によって整備されている上原願万地線整備事業の概要と効果、またそのなかで一級河川馬洗川に架設される橋梁の特徴や施工方法に関して報告を行なった。

また、本橋は漢字一文字の橋名ということで一般公募され『願橋(ねがいばし)』と命名されることとなった。この橋名には「願万地」の地名から地域らしさや橋への期待など市民の気持ちが表現されている。この『願橋』が完成することにより交通の利便性や安全性が向上することに加え、地元のシンボルマーク的な構造物になると期待されている。

この原稿執筆時点では張出し架設を完了したところであるが平成24年6月の工事竣工に向けて、地元ならびに河川などの周辺環境に配慮しながら無事故・無災害を目指している。平成24年1月時点における施工全景を写真 - 18 に示す。



写真 - 18 平成24年1月時点施工全景

最後に、本橋の工事に関係していただいている皆様に対し、感謝の意を表するとともに、工事竣工まで引き続き、ご指導・ご協力のほど、よろしくお願いいたします。

【2012年1月23日受付】